

補助事業番号 2021M-222

補助事業名 2021年度 マイクロプラスチックの高効率な捕集を目的としたフィルターろ過技術の開発 補助事業

補助事業者名 京都工芸繊維大学 北川石英

1 研究の概要

本事業では、マイクロプラスチック捕集のためのフィルターろ過技術を開発することを目的とし、フィルター構造を有するマイクロ流体デバイス内を移流するプラスチック粒子に対して可視化画像計測を実施した。ピラー形状、ピラー表面濡れ性、およびピラー群配置構造と粒子捕集率との関係を調査した結果、撥水性の正方形ピラー群が千鳥配置の場合のフィルター構造がマイクロプラスチック粒子の捕集に対して最適であることがわかった。

2 研究の目的と背景

プラスチックは海洋に流出すると光分解や熱酸化分解などによって劣化・微細化される。この微細化されたプラスチックは“マイクロプラスチック”と呼ばれ、近年、海洋生物・海鳥のマイクロプラスチックの誤飲や、水道水中でのマイクロプラスチックの発見が多く報告されている。特に、マイクロプラスチックは残留性有機汚染物質の吸着・吸収能力が高いことから、海洋生物の生態系の破壊に加え、人体への悪影響が懸念されている。このため、マイクロプラスチックの回収は地球規模での喫緊の重要課題であると言える。

本事業では、フィルター構造を有するマイクロ流体デバイス内を移流するプラスチック粒子の捕集機構を総合的に理解することにより、マイクロプラスチック捕集のためのフィルターろ過技術を開発することを目的としている。この目的を達成するため、顕微鏡と高速度カメラを用いた可視化計測を実施し、フィルターろ過技術開発のための最適条件を見出す。

3 研究内容

フィルター構造を有するマイクロ流体デバイスを用いたプラスチック粒子捕集に関する研究 (<http://www.cis.kit.ac.jp/~kitagawa/kitagawa.html>)

フィルター構造の一部をピラーにより表現するため、厚さ0.72 mmの石英ガラス板とポリジメチルシロキサン (PDMS) を用いて、単一ピラーまたはピラー群を有するマイクロ流体デバイスを作製した。デバイスの流路高さは約200 μm とした。単一ピラーを有する流体デバイスに対しては、プラスチック粒子捕集に対するピラー形状の依存性を確認するため、円形ピラー、正方形ピラー、ひし形ピラー (45° 回転した正方形ピラー)、三角形ピラーを用いた (図1参照)。一方、ピラー群を有する流体デバイスに対しては、流路内に合計24個のピラー (一辺: 200 μm) を設置し、ピラー群の配置構造を整列配置または千鳥配置とした (図2参照)。目詰まりの要因となる粒子同士の架橋の発生を防ぐため、ピラーの間隔をピラーサイズの2倍とした。

流体デバイス内粒子流れの可視化計測には、顕微鏡、LED光源、高速度カメラおよびパソコンを利用した（図3参照）。計測には、多くのプラスチック製品に利用されているポリエチレン素材の固体粒子を用いた。ポリエチレン粒子の比重および平均直径はそれぞれ、0.96, 36 μm であった。粒子の体積濃度は100 ppmとした。ピラー上流部・下流部における粒子群の可視化画像をもとに、単一ピラーによる粒子捕集率を算出した。

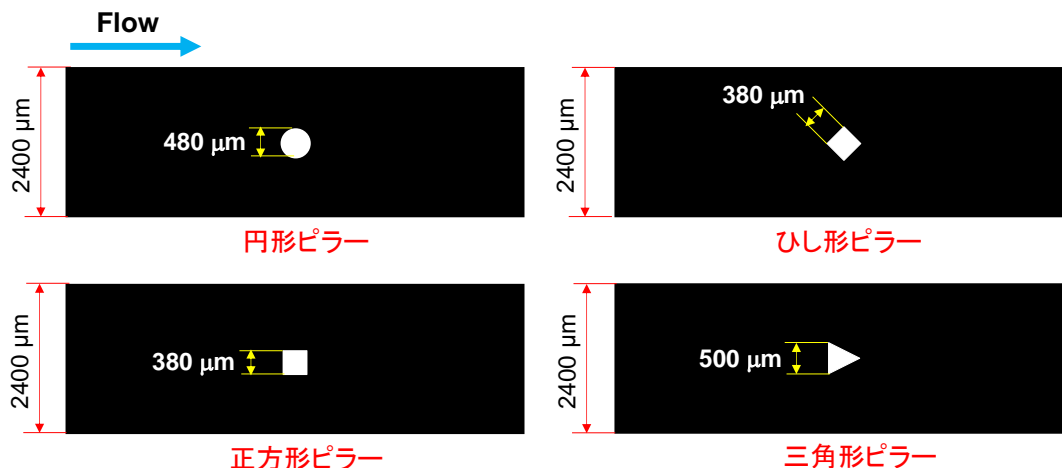


図1 単一ピラーを有するマイクロ流体デバイスの概略図

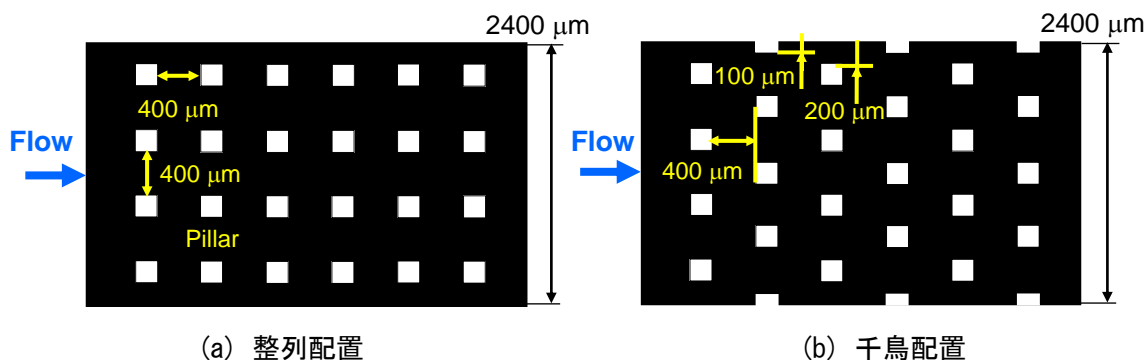


図2 ピラー群を有するマイクロ流体デバイスの概略図

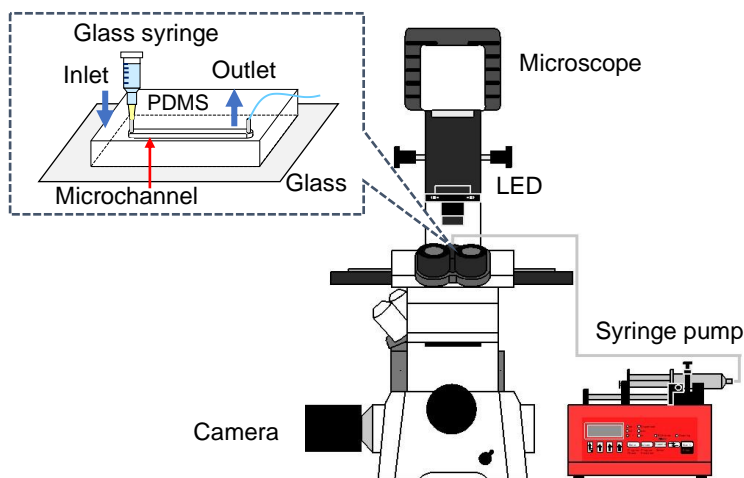


図3 実験装置の概略図

単一ピラーを有する流体デバイスを用いた場合の粒子捕集率 Γ の算出結果を図4に示す。図中のType CP, Type TP, Type SP, Type DPはそれぞれ、円形ピラー、三角形ピラー、正方形ピラー、ひし形ピラーを、HPO, HPIは撥水性ピラー、親水性ピラーを意味する。図4より、粒子捕集率の最大値は約8%であることがわかる。以下では、ピラー形状・表面濡れ性と粒子捕集率との関係を議論する。まず、ピラー形状に着目すると、いずれの液体流量 Q においても、正方形ピラーの場合の粒子捕集率が最も高くなる（図4 a）。これは、正方形ピラーの場合、ピラー側面において移流粒子のピラー接近領域が存在し、その領域で捕集粒子濃度が増加するためである。次に、ピラーの表面濡れ性に着目すると、親水性の場合のピラーに比して、撥水性の場合のピラーに対する粒子捕集率が高くなる（図4 b）。これは、マイクロ流体デバイス内を流れるポリエチレン粒子と撥水性ピラー表面との間に撥水性相互干渉が生じたためであると考えられる。

撥水性の正方形ピラー群を有する流体デバイスを用いた場合の粒子捕集率 Γ の時間変化を図5に示す。図5より、最大粒子捕集率は約9%であることがわかる。また、配置構造に着目すると、いずれの液体流量においても、整列配置の場合に比して、千鳥配置の場合の粒子捕集率が高いことがわかる。これは上流で捕集されなかった粒子が下流にてピラーの上流よどみ領域に移流する可能性が高いためである。さらに、粒子捕集率は時間の増加とともに低下する傾向にある。このことから、ポリエチレン粒子と撥水性ピラー表面との付着よりも、ポリエチレン粒子同士の付着の影響は小さいと言える。

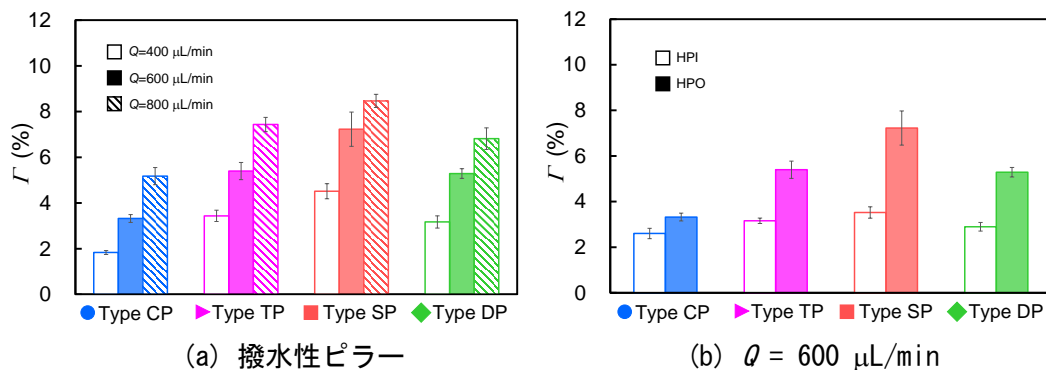


図4 単一ピラーを有する流体デバイスを用いた場合の粒子捕集率

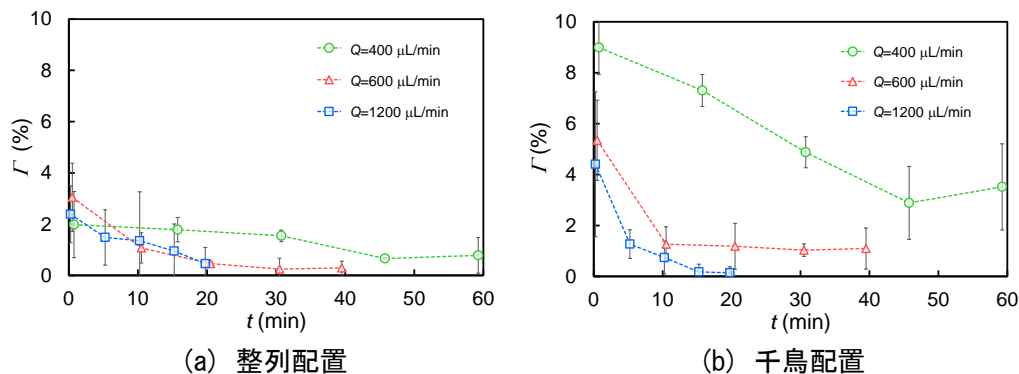


図5 ピラー群を有するマイクロ流体デバイスを用いた場合の粒子捕集率の時間変化

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業により開発されるフィルターろ過技術はマイクロプラスチックの捕集だけでなく、水中に浮遊する汚染物質の捕集にも利用可能であることから、水質環境の飛躍的な改善に大きく貢献することができる。また、本技術は飲料水の製造、廃水処理、海水の淡水化、そして、地球全体の環境問題にも直結する炭素を主成分とするPM(粒子状物質)などの有害物質の捕集への応用も期待される。さらに、学術的には、本事業により取得される結果を利用することにより、固液二相流に関する数理モデルおよび数値計算手法の開発にも貢献することができる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

マイクロプラスチック粒子の捕集機構が解明できれば、マイクロプラスチック回収のための高性能フィルターを開発することができる。マイクロプラスチックは海中や多くの国の水道水中で発見されていることから、本事業により得られる成果は地球的環境問題の早期解決に大いに貢献できる。申請者は流体工学・混相流工学を専門として、これまでに固液二相流に関する実験・数値シミュレーションの研究に深く携わっており、その知識と経験を駆使することで新たなフィルターろ過技術を構築できると判断し、本研究を実施した。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Atsuhide Kitagawa, Mirano Ota, Tomoaki Watamura, Taishi Tonooka, Yuichi Murai, Microplastic particle trapping through microfluidic devices with different shaped pillars, Chemical Engineering Science 264, 31, 118163, 1–12.(2022)

7 補助事業に係る成果物

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 京都工芸繊維大学(キョウトコウゲイセンイダイガク)

住 所： 〒606-8585

京都市左京区松ヶ崎御所海道町

担 当 者： 教授 北川石英(キタガワアツヒデ)

担 当 部 署： 機械工学系(キカイコウガクケイ)

E - m a i l: kitagawa@kit.ac.jp

U R L: <http://www.cis.kit.ac.jp/~kitagawa/>